



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **04346178 A**(43) Date of publication of application: **02.12.92**

(51) Int. Cl.

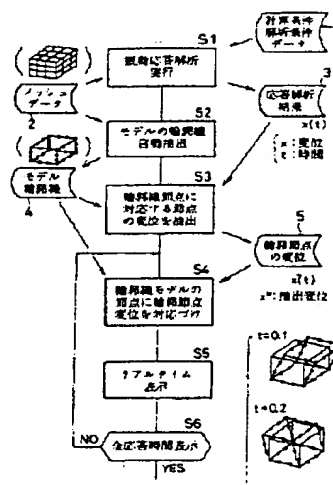
G06F 15/62**G06F 15/60**(21) Application number: **03118835**(22) Date of filing: **23.05.91**(71) Applicant: **BABCOCK HITACHI KK**(72) Inventor: **GOUKON SHIGERU
ENOMOTO HIROYASU
GONDO HIROSHI**(54) **ANIMATION DISPLAY METHOD FOR FINITE
ELEMENT METHOD ANALYSIS RESULT**

(57) Abstract:

PURPOSE: To realize the animation display of the finite element method analysis result easy-to-use for a normal analysis technician without special tool or hardware.

CONSTITUTION: An analysis model is composed of many small elements by mesh-dividing a mesh data 2. With the finite element method by applying an analysis condition data 1 for each element, a displacement 5 of the node for each element is calculated by the prescribed time interval. Further, the contour line of the mesh-divided analysis model is extracted S2, and the amplitude displacement of a contour line 4 of an analysis model is animation-displayed based on the node data of this contour line and the displacement 5 of the calculated node.

COPYRIGHT: (C)1992,JPO&Japio



特開平4-346178

(43) 公開日 平成4年(1992)12月2日

(51) Int. Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 F 15/62	3 4 0	8125-5L		
15/60	4 5 0	7922-5L		

審査請求 未請求 請求項の数6(全9頁)

(21) 出願番号 特願平3-118835

(22) 出願日 平成3年(1991)5月23日

(71) 出願人 000005441

バブコック日立株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番2号

(72) 発明者 郷右近 茂

神奈川県横浜市磯子区磯子一丁目2番10号

バブコック日立株式会社横浜研究所内

(72) 発明者 榎本 博康

神奈川県横浜市磯子区磯子一丁目2番10号

バブコック日立株式会社横浜工場内

(72) 発明者 極藤 宏

神奈川県横浜市磯子区磯子一丁目2番10号

バブコック日立株式会社横浜工場内

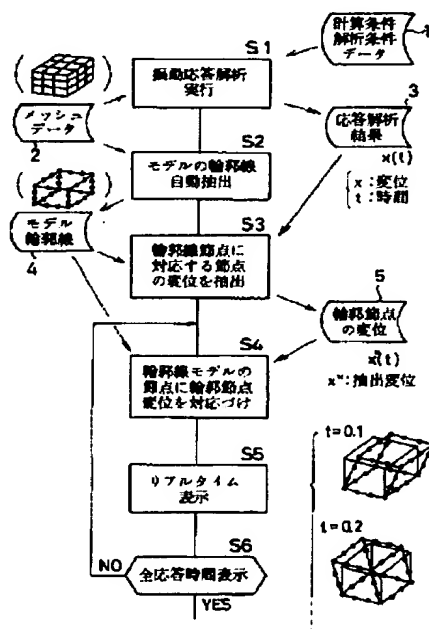
(74) 代理人 弁理士 川北 武長

(54) 【発明の名称】 有限要素法解析結果のアニメーション表示方法

(57) 【要約】

【目的】 特別なルーツまたはハードを用いなくて、通常の解析技術者が手軽に使用できる有限要素法解析結果のアニメーション表示を実現する。

【構成】 メッシュ分割して多数の小要素により解析モデルを構成し、各要素に解析条件を与えて有限要素法により、所定時間間隔ごとの各要素の節点の変位を算出するとともに、メッシュ分割された解析モデルの輪郭線を抽出し、この輪郭線の節点データと、上記算出された節点の変位に基づいて解析モデルの輪郭線の振動変位をアニメーション表示する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 解析対象物に近似した解析モデルをメッシュ分割して多数の小要素により構成し、各要素に解析条件を与えて、有限要素法により所定時間経過ごとの各要素の変位、応力を算出し、これにより解析対象物の振動解析を行なうとともに、解析結果のアニメーション表示を行なう方法において、メッシュ分割された各要素の節点データより解析モデルの輪郭線を抽出し、抽出された輪郭線上の節点データと、解析結果より得られた上記輪郭線を構成する節点の変位とに基づき、解析モデルの輪郭線の振動変位をアニメーション表示することを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法。

【請求項2】 請求項1において、抽出された輪郭線上の節点データと、解析結果より得られた輪郭線上の節点の変位および節点における応力値とに基づき、解析モデルの輪郭線の振動変位と輪郭線上の応力状態をアニメーション表示することを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法。

【請求項3】 請求項2において、輪郭線上の応力状態の表示を、輪郭線上の各節点の応力に対応した色づけ表示により行なうことを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法。

【請求項4】 解析対象物に近似した解析モデルをメッシュ分割して多数の小要素により構成し、各要素に解析条件を与えて、有限要素法により所定時間経過ごとの各要素の変位を算出し、これにより解析対象物の振動解析を行なうとともに、解析結果のアニメーション表示を行なう方法において、メッシュ分割された各要素の節点データより、各要素ごとの輪郭線を求め、該輪郭線のうち隣接要素の輪郭線と重複するものを除き、残った輪郭線により解析モデルの輪郭線を抽出し、抽出した上記解析モデルの輪郭線のうち、裏になる面の輪郭線を除いて、解析モデルの輪郭線を形成し、形成された輪郭線上の節点データと、解析結果より得られた上記輪郭線を形成する節点の変位とに基づき、解析モデルの輪郭線の振動変位をアニメーション表示することを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法。

【請求項5】 解析対象物に近似した解析モデルをメッシュ分割して多数の小要素により構成し、各要素に解析条件を与えて有限要素法により所定時間経過ごとの各要素の変位、応力を算出し、これにより解析対象物の振動解析を行なうとともに、解析結果のアニメーション表示を行なう方法において、メッシュ分割された各要素の節点データより各要素ごとの輪郭面を求め、該輪郭面のうち隣接要素と重複するものを除き、残った輪郭面により解析モデルの輪郭面を構成し、構成された上記輪郭面上の節点データと解析結果より得られた上記輪郭面上の節点の変位とに基づき、解析モデルの輪郭面上の節点の振動変位をアニメーション表示することを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法。

【請求項6】 請求項5において、構成された解析モデルの輪郭面上の節点データと、解析結果より得られた上記輪郭面上の節点の変位および応力値とに基づき、解析モデルの輪郭面上の節点の振動変位および応力状態をアニメーション表示することを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は解析対象物についての有限要素法振動解析結果のアニメーション表示方法に係り、特に振動応答解析結果のリアルタイム表示に好適な有限要素法解析結果のアニメーション表示方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 解析対象物の振動を解析する際、解析対象物に近似した解析モデルを作成し、このモデルを多数の小要素よりなるメッシュ要素に分割するとともに、各要素に境界条件を与えて、所定時間経過ごとの各要素の変位を算出し、これにより解析モデルの振動状況を求めることが行なわれている。

【0003】 この際、解析結果をアニメーション表示して、振動状況を把握したり、解析方法の妥当性の検討を行なうことが行なわれている。上記従来の振動応答解析結果のアニメーション表示方法は、図14に示すように（1）コンピュータ画像のビデオやフィルムによるコマ撮りする方法と、（2）スーパーコンピュータによるリアルタイム表示方法がある。

【0004】 前者の場合は、市販のパソコンおよびEWS（エンジニアリング・ワーク・ステーション）を対象としたもので、膨大な量の演算処理が必要であり、上記パソコンやEWSでは処理速度が遅いために振動応答解析結果をリアルタイムでアニメーション表示できない。このため、振動応答解析結果を時間ステップごとに静止画像として表示し、その表示結果をビデオまたはカメラ等で1画面づつコマ撮りし、それを編集して最終目的の表示画像を製作する方法である。この方法の欠点は、解析結果のアニメーション表示を見たい時に見れないということであり、一般に30秒アニメを製作するのに1昼夜かかり、製作時間が長くなるという欠点がある。

【0005】 後者の場合は、処理速度の速いハード、この例ではスーパーコンピュータを用いて解析モデルのすべての部分についての解析結果をリアルタイムにアニメーション表示する方法である。この方法はリアルタイムでアニメーション表示を見ることが出来る利点があるが、設備が高価なため使用できる人は一部のに限られ、一般ユーザが手軽に使用できないという欠点がある。

【0006】 以上、有限要素解析法による振動解析結果のアニメーション表示方法について従来例を述べたが、いずれの場合も一般ユーザが手軽に使用できる環境でな

いということである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術は、いずれも特別なツールまたは高速計算機（ハード）を必要とするため、一般の解析技術者が手軽に利用できるものではなく、一部の特殊な用途向けに考えられたもので、本来、解析結果のアニメーション表示は解析技術者が手軽に使えて初めてその効果がでるということについてはあまり配慮されておらず、前記したコンピュータ画像のビデオ、フィルムによるコマ撮りはリアルタイム性が悪く、また前記したスーパーコンピュータを用いる方法は設備が高価になるという問題があった。

【0008】本発明の目的は特別なツールまたはハードを用いなくて通常の解析技術者が手軽に使用できる有限要素法解析結果のアニメーション表示を実現するものである。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため本願の第1の発明は、解析対象物に近似した解析モデルをメッシュ分割して多数の小要素により構成し、各要素に解析条件を与えて、有限要素法により所定時間経過ごとの各要素の変位、応力を算出し、これにより解析対象物の振動解析を行なうとともに、解析結果のアニメーション表示を行なう方法において、メッシュ分割された各要素の節点データより解析モデルの輪郭線を抽出し、抽出された輪郭線上の節点データと、解析結果より得られた上記輪郭線を構成する節点の変位とに基づき、解析モデルの輪郭線の振動変位をアニメーション表示することを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法に関する。

【0010】また本願の第2の発明は、上記第1の発明において、抽出された輪郭線上の節点データと、解析結果より得られた輪郭線上の節点の変位および節点における応力値とに基づき、解析モデルの輪郭線の振動変位と輪郭線上の応力状態をアニメーション表示することを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法に関する。

【0011】さらに本願の第3の発明は、上記第2の発明において、輪郭線上の応力状態の表示を、輪郭線上の各節点の応力に対応した色づけ表示により行なうことを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法に関する。また本願の第4の発明は、解析対象物に近似した解析モデルをメッシュ分割して多数の小要素により構成し、各要素に解析条件を与えて、有限要素法により所定時間経過ごとの各要素の変位を算出し、これにより解析対象物の振動解析を行なうとともに、解析結果のアニメーション表示を行なう方法において、メッシュ分割された各要素の節点データより、各要素ごとの輪郭線を求め、該輪郭線のうち隣接要素の輪郭線と重複するものを除き、残った輪郭線により解析モデルの輪郭線を抽

出し、抽出した上記解析モデルの輪郭線のうち、裏になる面の輪郭線を除いて、解析モデルの輪郭線を形成し、形成された輪郭線上の節点データと、解析結果より得られた上記輪郭線を形成する節点の変位とに基づき、解析モデルの輪郭線の振動変位をアニメーション表示することを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法に関する。

【0012】また本願の第5の発明は、解析対象物に近似した解析モデルをメッシュ分割して多数の小要素により構成し、各要素に解析条件を与えて有限要素法により所定時間経過ごとの各要素の変位、応力を算出し、これにより解析対象物の振動解析を行なうとともに、解析結果のアニメーション表示を行なう方法において、メッシュ分割された各要素の節点データより各要素ごとの輪郭面を求め、該輪郭面のうち隣接要素と重複するものを除き、残った輪郭面により解析モデルの輪郭面を構成し、構成された上記輪郭面上の節点データと解析結果より得られた上記輪郭面上の節点の変位とに基づき、解析モデルの輪郭面上の節点の振動変位をアニメーション表示することを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法に関する。

【0013】さらに本願の第6の発明は、前記第5の発明において、構成された解析モデルの輪郭面上の節点データと、解析結果より得られた上記輪郭面上の節点の変位および応力値とに基づき、解析モデルの輪郭面上の節点の振動変位および応力状態をアニメーション表示することを特徴とする有限要素法解析結果のアニメーション表示方法に関するものである。

【0014】

【作用】従来のアニメーション表示方法は、特別なツールを使って実施していたか、または高速な計算機を用いて、力まかせに実現していた感があり、表示する図形そのものの情報量は余り気にしていない。本発明は従来考慮していない表示図形の情報量に着目し、表示図形の情報量と表示スピードには緊密な関係があることから、解析結果の評価に余り関係ない情報部分を極力削除し、表示情報量を減らして表示スピードの向上を図るものである。その情報量の削減方法として、解析した結果得られたメッシュ・データからモデルの輪郭線または表面を自動抽出し、その抽出輪郭線または抽出面の節点に対応する変位または応力を解析結果から抽出し対応づけることで、表示する情報量を減らし、市販のパソコン、EWSの標準装備のみでリアルタイムアニメーション表示が可能となり、特別なツールおよび高速ハードに依存する必要がなくなる。

【0015】

【実施例】図1に本発明による一実施例の処理フローを示す。本実施例は市販のパソコンまたはEWS上で実現できる。以下、図1の処理フローにしたがって、図3に示すソリッド要素（解析対象物を多数の小メッシュに分

割した場合の分割要素 E_1, E_2, \dots, E_n のメッシュ・データと図2に示す応答解析結果(時間間隔 $\Delta t = 0.1$ ごとの分割節点 N_1, N_2, \dots, N_{34} についての変位の例)を用いて行なうリアルタイムアニメーション表示方法について詳細に説明する。

【0016】振動応答解析の実行(S1)は、多数のメッシュにより分割された要素よりなる解析モデルに、計算条件、解析条件を与えてコンピュータにより有限要素解析法を適用して行なう。すなわち、計算条件・解析条件データ1とメッシュ・データ2を入力とし、応答解析結果3を出力する。通常は計算条件・解析条件データ1として、計算タイムステップ数(Nt)、ステップ幅(Δt)、計算開始時刻(秒:ts)および応答出力間隔(ΔN)、解析要素タイプ(=ソリッド要素)拘束条件および荷重条件などを入力する。また解析モデルの形状を表すメッシュ・データ2は、図3に示すように要素No.とその要素廻りの節点列および各節点の座標値で構成されている。例えば要素No. E_1 は節点列1、5、6、2、17、21、22、18の8つの節点で構成されており、他のすべての要素も同様である。また節点No. (1、2、3、…… N_n)は、それぞれの座標値X、Y、Zで表される。この例の場合メッシュ・データの容量はソリッド要素27個、節点数は64となる。また応答解析結果3は図2に示すように計算開始時刻ts=0.1からステップ幅 $\Delta t = 0.1$ 間隔で計算タイムステップ数Nt回出力される。各ステップごとに出力されるデータ(変位の場合)は節点No. 1~64に対し、相対変位量($\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \theta x, \Delta \theta y, \Delta \theta z$)などが出力されるため膨大なデータ量となる。ここで、 $\Delta \theta x, \Delta \theta y, \Delta \theta z$ は、それぞれx軸、y軸、z軸まわりの回転角である。図15参照。

【0017】本発明は以上述べたメッシュ・データ2、応答解析結果3の表示情報をできるかぎり減らし、表示スピード向上を図るもので、その表示情報量の削減方法について次に述べる。表示情報量の削減方法はメッシュ・データ2を入力とし、モデルの輪郭線を自動抽出(S2)することで実現する。モデルの輪郭線に注目したのは、通常、アニメーション表示は構造物の全体の動きを評価するのに用いることから、構造物内部の形状および解析結果データは余り評価に関係ないからである。図4にメッシュ・データからの輪郭線自動抽出の処理フローを示す。メッシュ・データからの輪郭線自動抽出は、まず初めにメッシュの輪郭線リスト作成(S21)する。図5に示すように1つのソリッド要素は12本の輪郭線で表し、1つの輪郭線は2つの節点の組みで表す。またここで図4のステップ23の入力となるINDEX値すなわち輪郭線端点の節点の和を求めておく。このメッシュの輪郭線リスト作成(S21)は全要素(S22)について行なう。次にメッシュ輪郭線リストの両端節点No.の和をINDEXとし、図6に示すINDEXテ

ブルに輪郭線リストNo.を登録する(S23)。図6に登録してあるリストNo.は図5の表中リストNo.に丸印を付けたもので、例えば図5のリストNo. 1は節点1-5、和が6であるから、図6のINDEXテーブルのINDEX(和)の項の6番目のリストNo.列にリストNo. 1を登録する。この処理は全輪郭線に対して行なう(S24)。次にすべての輪郭線がINDEXテーブルに登録されたら、INDEXテーブルに登録されているリスト数を調べ(S25)、1本のときはそのリストをソリッドモデルの輪郭線(S27)とする。また2本以上のときは(S26)、そのINDEX内で両端の節点の組合せが同一のリストは除外し(S28)、同一のものがない単独なリストはソリッドモデルの輪郭線とする(S28)。

【0018】ここから図1の説明に戻る。以上の処理で求めたモデル輪郭線(図7(a))をファイル4に記憶しておく。次にモデル輪郭線4および応答解析結果3を基にモデル輪郭線の節点に対応する節点の変位を抽出し(S3)、その抽出変位をファイル5に出力する(図7(b))。次にこれらのデータを利用し、モデル輪郭線の節点に輪郭節点変位を対応づけし(S4)、それをCRTヘリアルタイム表示する(S5)。このステップS4、ステップS5の処理を全応答時間繰り返すことにより(S6)、解析結果のリアルタイムアニメーション表示を可能とする。

【0019】以上述べたように、表示するモデル輪郭数は36本となり、削減前のメッシュ・データの稜線数は27ソリッド要素 \times 12本=324本であり、約1/9に情報量を削減できることから、市販のパソコン、EWSでも十分リアルタイムアニメーション表示が可能となる。本発明の他の実施例を図8に示す。本実施例は図1の発明において、節点変位とともにその時点の節点応力を記憶し、応力に対応した色づけをして表示するもので、変位と応力変化を一括にアニメーション表示できる効果を有する。

【0020】本発明の他の実施例を図9に示す。本実施例は図1および図9の発明において、視点ベクトル(眼から対象物の方向に引いたベクトル、視線の方向を示すベクトル)とメッシュ面の法線ベクトルの向きが同一方向となるメッシュ面(裏になる面)の輪郭線を除去し、表示する輪郭線数を減らして表示をさらに高速化するもので、ワイヤフレームアニメーションというよりは、隠線処理を施したアニメーションとなり、解析モデルが非常に複雑な場合はより高速表示可能となるとともに、必要最低限の簡素な表示とすることで、非常に評価もしやすくなる特徴がある。なお、裏面の除去方法については、図11に示すメッシュ面リストを用いることで容易に可能である。

【0021】すなわち、要素 E_1 のS1の面は面境界節点列は1、5、6、2で構成される。このとき節点列の

並びの順番が面S1の法線ベクトルが要素E1の重心方向と反対方向となるように決める。この法線ベクトルと視点のベクトルを比較し、面S1の法線ベクトルが視点ベクトルと同一向きの面を除去することで実現する。本発明の他の実施例を図10に示す。本実施例は図1の発明のワイヤフレーム(wire frame)アニメーションに際して、面アニメーション表示方法を可能とするもので、図1のステップS2の処理を図10に示す処理とすることで実現する。図10が図4と異なる点はメッシュの輪郭線リスト作成(S21)の代わりにメッシュの面リストを作成(S201)する点である。面リストはメッシュ面の境界節点の並びで表す。例えば要素E1の面S1の節点列は1、5、6、2の4節点で構成される。またここでステップS203のINDEXのための節点No.の総和を求めるが面リストの場合は節点No.の総和がステップS21で用いた輪郭線リストの総和より大きくなるので、図12に示すINDEXテーブルを大きくする必要があるので、計算機のメモリ容量の有効利用を考慮し、面リストの場合は総和の1/2をINDEXテーブルとした。なお、計算機のメモリ容量がゆるされるなら、総和そのままを用いてもさしつかえない。なお、上記以外は図4の処理とほぼ同一なので省略するが、この方法を用いることでメッシュ・モデルの内部の面を除去し、表面のみを残すことができる。したがって図1の発明のワイヤフレームアニメーションの場合より多少表示する情報量は多くなるが、高性能のGWS(Graphic Work Station)を用いれば、リアルタイムアニメーション表示が実現できる。

【0022】本発明の他の実施例を図13に示す。本実施例は図10の発明において、節点変位とともに節点応力を記憶し、応力に対応した色づけをして表示するもので、変位と応力変化を一緒にアニメーション表示できる効果を有する。

【0023】

【発明の効果】本発明によれば、表示モデルとしてメ

ッシュ・データから自動抽出したモデル輪郭線および表面モデルを用いることで、表示する情報量を限定して表示スピードを向上させることができるので、特別なツールおよびスーパーコンピュータなど必要とせず、設備費の低減が図れる。また、解析技術者は現在保有しているパソコン、EWSでリアルタイムにアニメーション表示が可能となり、解析精度の向上にもつながる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明になる有限要素法(FEM)解析結果のアニメーション表示方法の処理フロー図。

【図2】図1の応答解析結果の一例を示す図。

【図3】図1のメッシュ・データを示す図。

【図4】メッシュ・データから輪郭線を自動抽出する処理フロー図。

【図5】メッシュの輪郭線リスト作成の説明図。

【図6】本発明実施例で使用するINDEXテーブルの説明図。

【図7】(a)、(b)図1のモデル輪郭線および輪郭節点変位を示す図。

【図8】本発明の他の実施例図であり、節点変位と応力の同時表示を示す図。

【図9】本発明の他の実施例図であり、裏になる面の輪郭を除去した場合を示す図。

【図10】本発明の他の実施例図であり、面アニメーション表示方法のメッシュモデルから内部面を除去する処理フロー図。

【図11】図10の実施例におけるメッシュの面リスト作成の説明図。

【図12】メッシュモデルから内部面を除去するためのINDEXテーブルの説明図。

【図13】本発明の他の実施例図であり、面アニメーション表示時の変位と応力の同時表示を示す図。

【図14】(a)、(b)および

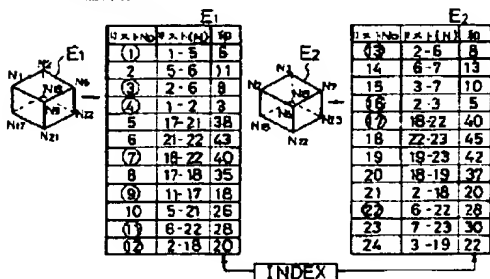
【図15】従来技術の説明図。

【図5】

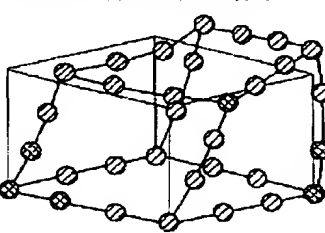
【図8】

【図9】

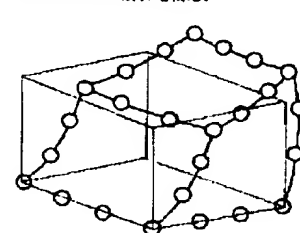
メッシュ輪郭線リスト



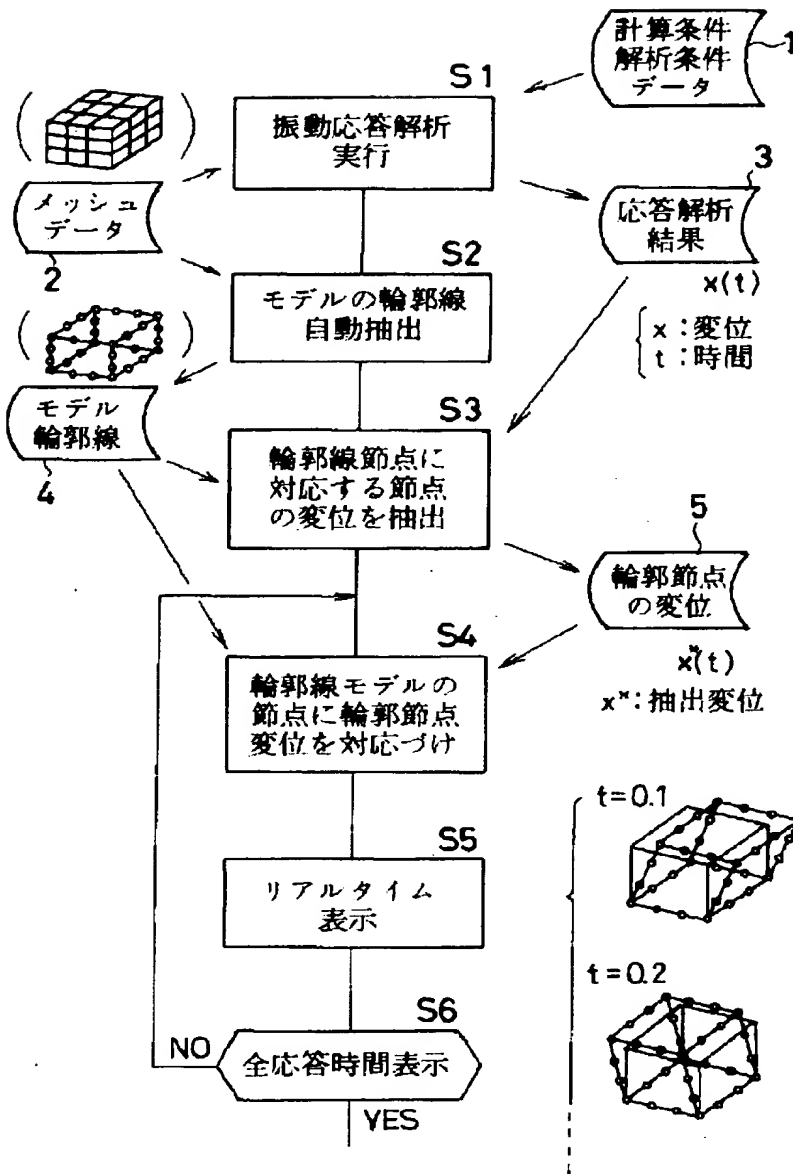
節点変位と応力色表示の同時表示



裏になる面の輪郭を除去



【図1】



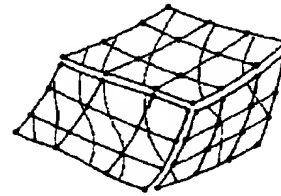
【図6】

INDEXテーブル

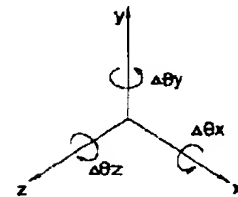
INDEX(和)	輪郭線ノード No.	PI
1		
2		
3	4	
4		
5	16	
6	1	
7		
8	3	13
...		
18	9	
...		
20	12	
...		
28	11	22
...		
40	7	17
...		

【図13】

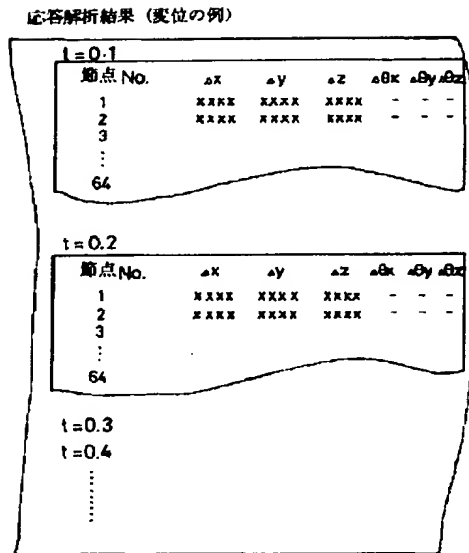
変位と応力のコンタ同時表示



【図15】

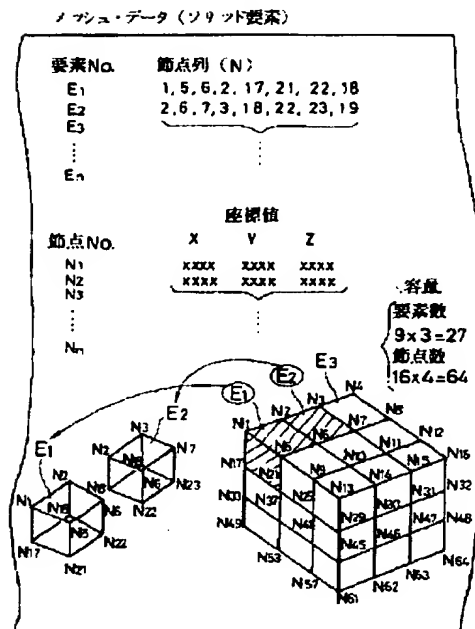
 $\Delta\theta_x$: x軸まわりの回転角 $\Delta\theta_y$: y軸まわりの回転角 $\Delta\theta_z$: z軸まわりの回転角

【図2】

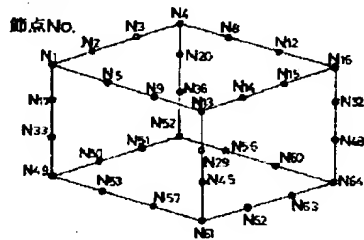


【図7】

【図3】

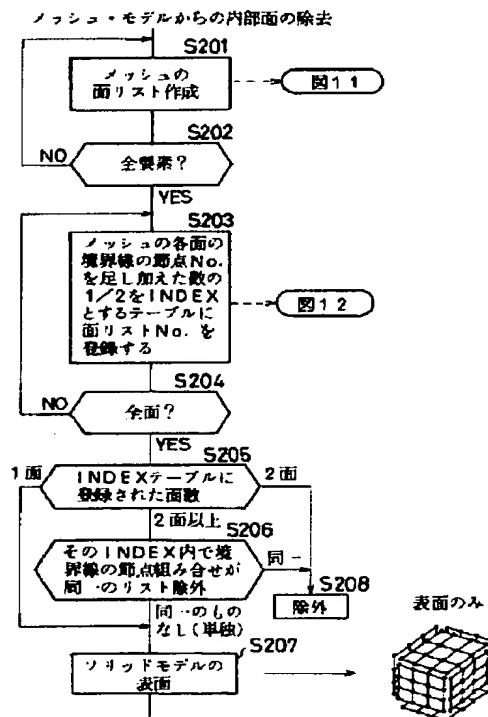


(a) モデル輪郭線

(b) 輪郭節点変位 $X^*(t)$

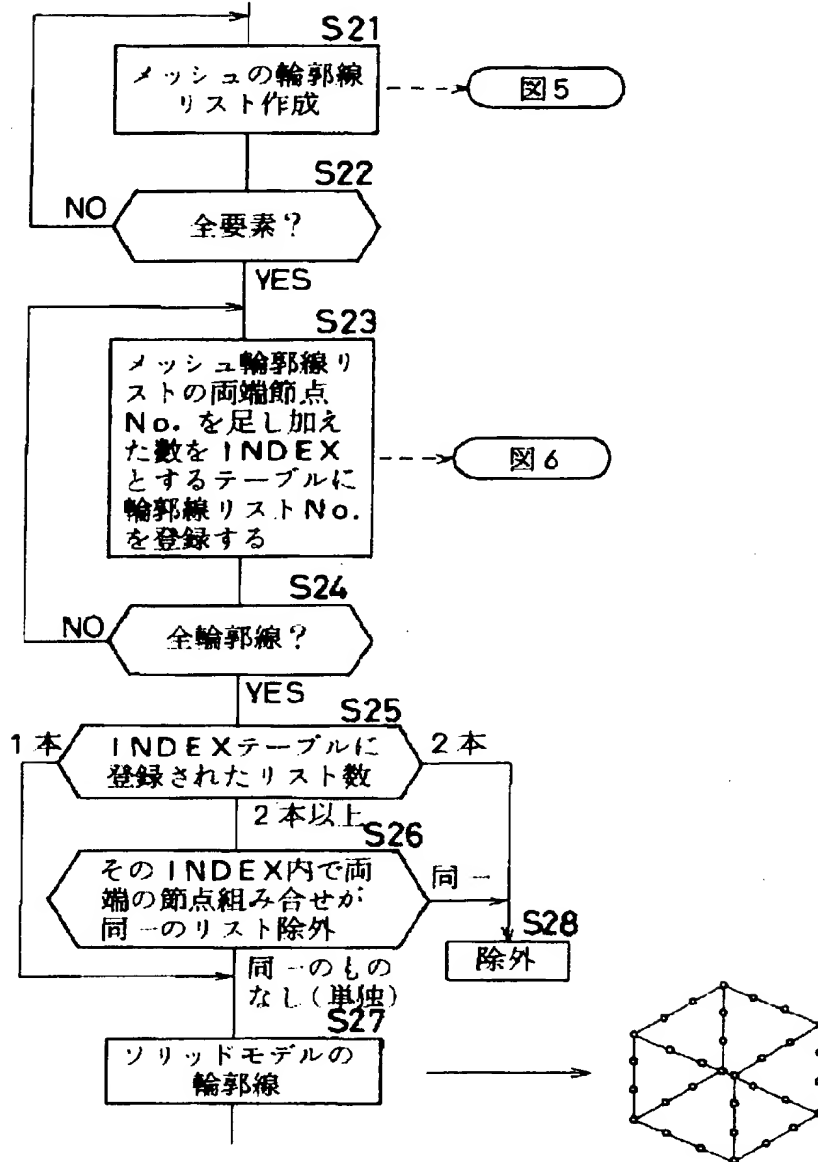
節点No.(N)	t=0.1	t=0.2	t=...
1	X,Y,Z	X,Y,Z	
2	X,Y,Z	X,Y,Z	
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
...			
63			
64			

【図10】

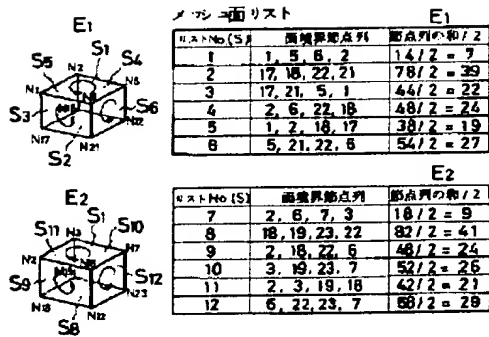


【図4】

メッシュ・データからの輪郭線自動抽出



【図1.1】

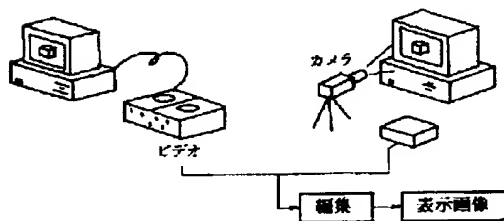


【図1.2】

INDEX (和/2)	メッシュ面No. 列			
7	1			
9	7			
19	5			
21	11			
22	3			
24	4	9		
26	10			
27	6			
28	12			
39	2			
41	8			

【図1.4】

(a) コンピュータ画像の、ビデオやフィルムによるコマ撮り



(b) スーパーコンピュータによるリアルタイム表示

